

Informe Final

CNC Plasma

Profesores: Matías Mattamala
Miguel Patiño

Estudiantes: Juan Pablo Ruiz
Felipe Salfate

Introducción	3
Figura 1- Estructura del sistema de plasma CNC.	3
Objetivo General	3
Objetivos específicos	4
Estructura del informe	4
Especificaciones técnicas	5
Alimentación	5
Conexión con computador	5
Requisitos de computador	5
Hardware	6
Descripción general de circuito de CNC	6
Diagrama de módulos	6
Consideraciones del computador	7
Puerto paralelo	7
Esquema de conector DB25 paralelo	7
Tarjeta de optoacoplación de puerto paralelo de 5 ejes	7
Pinout Tarjeta de optoacoplación de puerto paralelo	8
Fuente de Poder	8
Drivers	8
Motores stepper	9
Conmutación del Plasma	9
Periféricos	10
Placa de montaje	10
Representación completa de placa de montaje	11
Conexiones y bornes de tablero	11
Elementos de construcción	12
Placa de Montaje	12
Automático	12
Barra repartidora	12
Bornes	13
Regleta	13
Riel Din	13
Canaleta	13
Botones de Emergencia	14
Finales de Carrera	14
Cableado	14
Código de colores voltaje alto AC	14
Código de colores voltaje medio DC	14
Código de colores señales	15
Conexiones y bornes de circuito en tablero	15
Software	16
Ejemplo de interfaz grafica de linuxCNC	16
Instalación de Linux y Linux CNC	16
Configuración LinuxCNC	17
Configuraciones iniciales	17
Valores CNC Plasma	18
Prueba de Jitter	19

Configuración puerto paralelo	19
Configuración CNC Plasma	20
Opciones de interfaz	21
Configuración ejes	21
Encontrar velocidad máxima	22
Encontrar aceleración máxima	23
Valores CNC Plasma	23
Uso de la interfaz	23
Implementación y Resultados	25
Resultados	25
Prueba final de tablero en máquina	25
Implementación lograda de placa de montaje	26
Problemas	26
Conclusiones	27
Bibliografía	28
Anexos	29
Configuración Breakout Board CNC con Optoacoplación de 5 ejes	29
Outputs de motores	29
Inputs de señales	29
Outputs de Señales	30

Introducción

El siguiente informe da cuenta del diseño y construcción realizado para la parte electrónica de la máquina CNC plasma, a ser construida en el taller Molina. Este informe tiene como objetivo dar cuenta del trabajo realizado durante el semestre, además de documentar sobre todos los aspectos del proyecto requeridos para poder ser finalizado, además de poder hacer reparaciones o modificaciones.

En la siguiente figura se puede ver el sistema implementado. Se comienza por el diseño de una pieza o corte en un sistema CAD externo como fusion 360 u otro, desde un equipo externo. Desde este se genera un código G, que describe la maquinación, el cual es interpretado por LinuxCNC, software instalado en la máquina que se preocupa de entregar las instrucciones a los componentes. Por medio de un cable paralelo, se envían las instrucciones a los drivers y al conmutador del plasma, pasando antes por un optoacoplador, que asegura la seguridad del computador ante una sobrecarga. Los drivers controlan los motores de la máquina, controlando así el movimiento del cabezal, mientras que el relé controla la antorcha plasma, cortando cuando sea requerido.

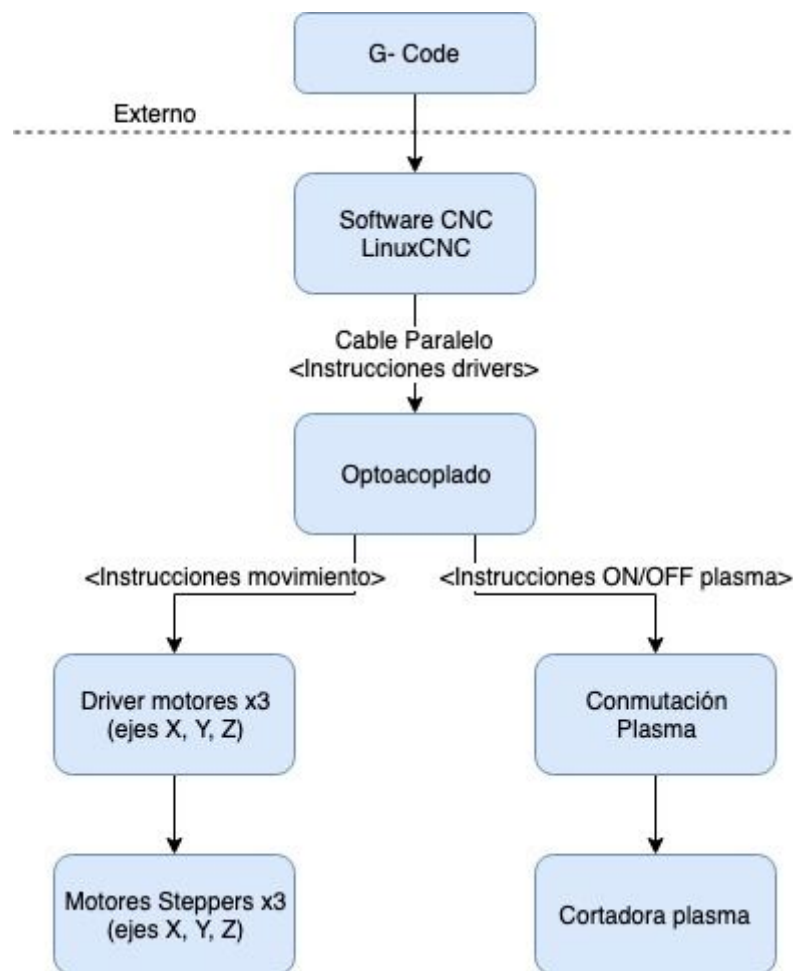


Figura 1- Estructura del sistema de plasma CNC.

Objetivo General

Diseñar, implementar y testear la parte electrónica de una CNC plasma, incluyendo el control de los motores, el software CAM y los elementos electrónicos necesarios para su operación.

Objetivos específicos

- Investigación, elección, instalación y configuración de un software CAM.
- Elección de un protocolo de comunicación entre computador y drivers.
- Diseño y construcción de tablero eléctrico, donde irán los componentes electrónicos y alimentación de la máquina.
- Diseño e implementación del cableado de la máquina.
- Testeo del correcto funcionamiento de la máquina.
- Documentación del proceso e implementación.

Estructura del informe

Luego de introducido y el trabajo y sus objetivos, lo que sigue del informe comenzará por describir las especificaciones técnicas de diseño, seguido de distintas secciones, entregando información sobre distintos aspectos del proyecto. En la sección hardware se explicará todo lo referente al diseño e implementación de la placa de montaje. Del mismo modo, en la sección software se explicará LinuxCNC y su uso. Se continúa con los resultados obtenidos en la implementación y testeo para finalizar con un análisis del proceso y consideraciones futuras en las conclusiones.

Especificaciones técnicas

Esta sección pretende ser un resumen de algunos aspectos técnicos importantes para una consulta más rápida del documento.

Alimentación

El circuito se alimenta con 220 volts AC en red regular y con 5 volts DC por USB en el optoacoplador. El optoacoplador requiere ser alimentado tanto por 12V desde un transformador en la placa, como por 5V desde un cable USB.

Conexión con computador

El optoacoplador de la placa se conecta usando un cable Db25 con un computador a través de puerto paralelo. Es importante asegurarse de que efectivamente el cable tenga todas las conexiones que debe tener, de otra manera el circuito no funciona.

Requisitos de computador

La placa debería poder usarse con cualquier software CAM que funcione con puerto paralelo, es preferible usar un computador antiguo por temas de compatibilidad nativa. En este informe se expone el uso con LinuxCNC. Para este fin el computador debe tener un puerto paralelo instalado, una tarjeta de video para evitar retardos en el funcionamiento y linux instalado. Se expone en la sección correspondiente cómo realizar la instalación del software.

Hardware

Se describen en esta sección todos los elementos eléctricos utilizados para el funcionamiento de la máquina. Se describe además, el diseño del tablero eléctrico implementado para la contención de todos los elementos necesarios, deteniéndose en aquellos elementos cuyo funcionamiento es importante para la operación de la máquina.

Descripción general de circuito de CNC

El siguiente diagrama explica los módulos implementados para el funcionamiento del circuito. Existen dos tipos de conexiones importantes que tener en cuenta, las de alimentación y las de señal.

Comenzando por la alimentación del circuito, los elementos y conexiones que son de alta potencia (220V AC) están en rojo, las que son de potencia media (20-12 V DC) en amarillo y las conexiones de baja potencia (5 V DC) son verdes. Hay dos detalles importantes que tener en cuenta, en la etapa de alimentación de alta potencia, la fase pasa por un automático y un interruptor de emergencia, cosa de poder detener el circuito a tiempo en caso de cualquier problema. Además, el optoacoplador si bien tiene un puerto USB que debe ser conectado a una fuente para tener 5 V de referencia, no recibe la energía de ahí. Tiene su transformador propio de 12 volts con el cual se energiza.

Los nodos internos de control están en azul, las señales externas en blanco y los periféricos controlables en gris. El optoacoplador recibe señales desde los interruptores y el cable paralelo y envía señales hacia los drivers que controlan los motores, además de contar con un relé que puede ser usado para la conmutación del plasma. Los interruptores son energizados directamente desde el optoacoplador.

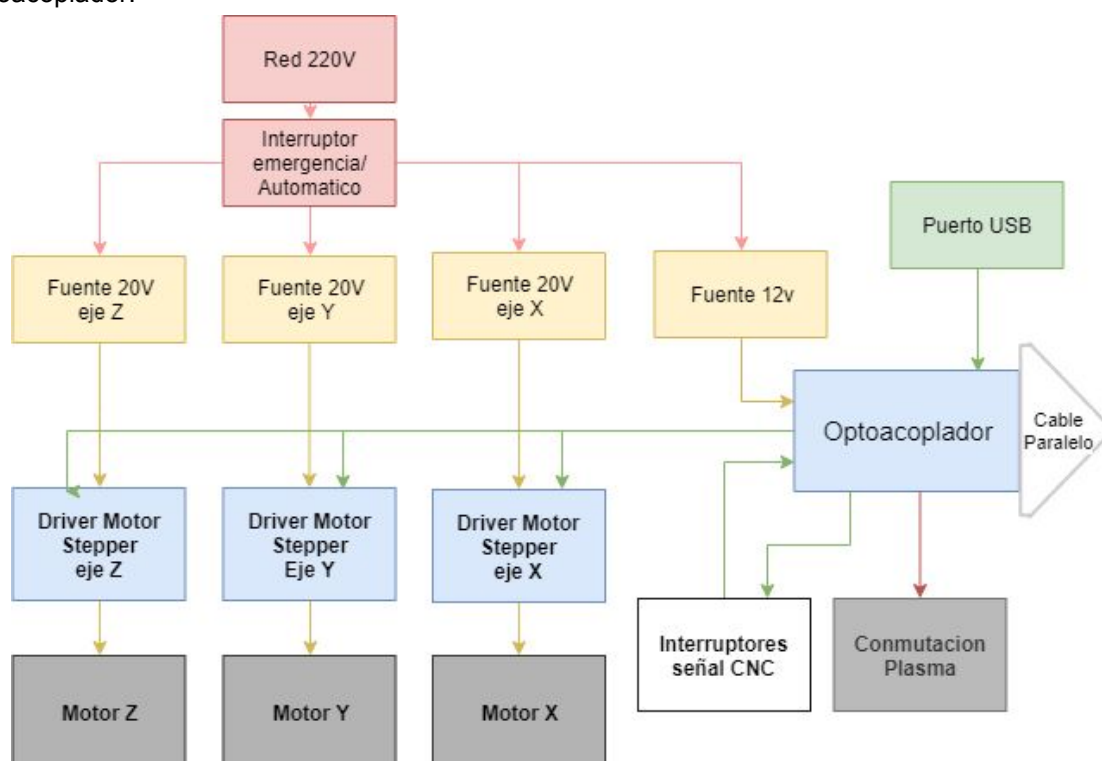


Diagrama de módulos

Consideraciones del computador

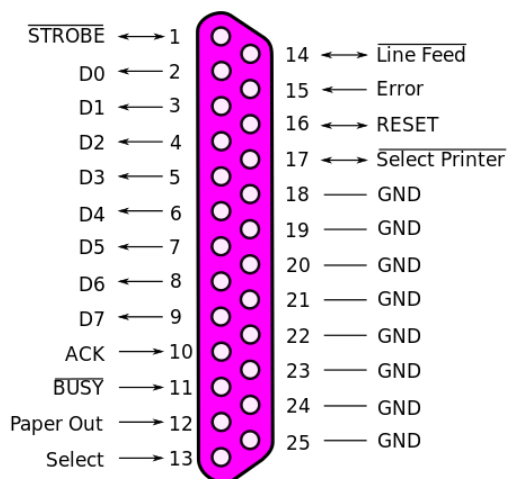
LinuxCNC pide 2 elementos base para su funcionamiento, el primero es la presencia de un puerto paralelo, ya sea nativo o mediante una tarjeta, y el segundo es la presencia de una tarjeta de video para liberar de carga al procesador utilizado. En general el software va a funcionar mejor en computadores antiguos, además de requerir menos modificaciones (por lo general los computadores antiguos tenían puerto paralelo nativamente, cosa que ha desaparecido en los últimos años).

El sistema operativo elegido para operar es Linux, esto es importante por 3 razones. La primera suena bastante obvia, pero vale recalcar que LinuxCNC solo funciona en linux. Linux a diferencia de Windows es un sistema donde se permite nativamente la ejecución en tiempo real, en windows softwares como Mach3 necesitan driver especiales, que suelen tener conflictos con los computadores más modernos. Además, al ser un sistema altamente configurable, el desempeño de Linux en los computadores antiguos es bastante más fluido que el que puede tener Windows.

Puerto paralelo

El puerto paralelo consiste en 25 canales de comunicación bidireccional, teniendo canales de entrada, salida y tierra, que pueden ser usado para la comunicación con periféricos por medio de un puerto PCI. Antiguamente era el medio estándar para la comunicación con impresoras, sin embargo el USB quitó su lugar, al ser más cómodo y barato. Pese a esto, el USB es solo comunicación serial, siendo más lento que el cable paralelo, teniéndose que en máquinas CNC, la velocidad de comunicación es clave.

Para la conexión de linuxCNC con cualquier máquina CNC, se requiere de un cable de puerto paralelo DB25. Es inmensamente importante tener cuidado al momento de comprar el cable, comprobando que efectivamente sea un DB25, el cual tiene todas sus pines conectados. Es más común encontrar cables de impresora que trae varios pines sin conexión, no siendo necesarios para el control de impresoras, abaratando costos en el proceso.



Esquema de conector DB25 paralelo

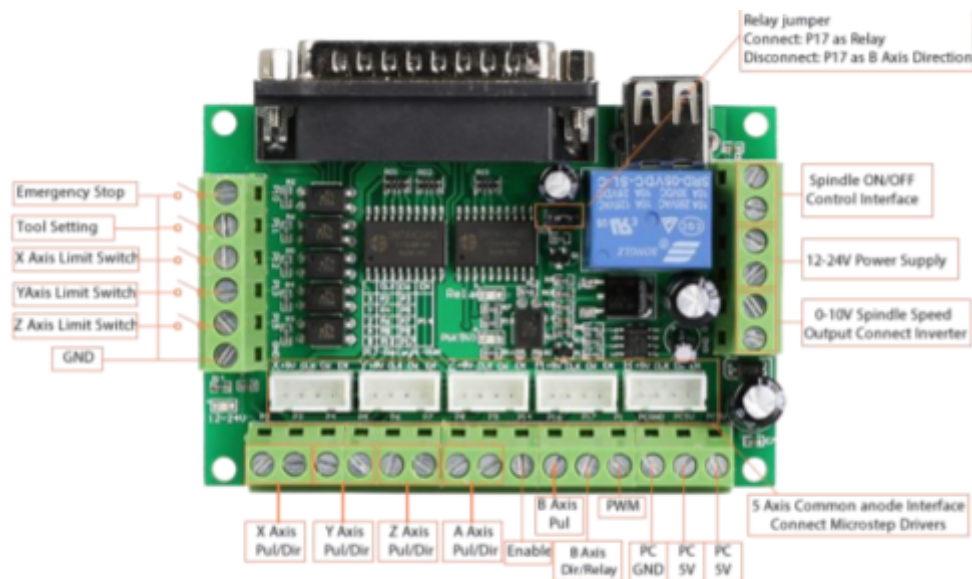
Tarjeta de optoacoplación de puerto paralelo de 5 ejes

Se hizo uso de una tarjeta idéntica a la de la figura para la optoacoplación¹. Esta se conecta al computador mediante un conector DB25 y se alimenta mediante USB. Se puede alimentar con una fuente de 12 a 24V, sin embargo se sigue requiriendo la conexión USB para funcionar. Permite transmitir hacia el computador 5 señales, siendo parada de emergencia y límites de ejes X, Y y Z, y desde el computador, las señales de control de hasta 5 drivers, un control optoacoplado de motor de

¹ Se trata de un modelo Chino del cual la documentación es difusa, pero se adjunta en anexos.

hasta 10 volts en PWM (solo si recibe alimentación extra) y un relay configurable mediante un jumper. En caso de que se configure el relé, el eje B (5to eje) no puede ser usado.

Según el manual del optoacoplador, la conexión del relé se hace en el pin de B Dir, sin embargo en algunos lugares se menciona que esto debe ser realizado en la interfaz ON/OFF del Spindle. La conexión correcta no pudo ser corroborado.



Pinout Tarjeta de optoacoplación de puerto paralelo

Fuente de Poder

Todas las fuentes escogidas son switching de voltaje constante. Se tienen 3 de 20 Volts para los drivers y 1 para el optoacoplador. Este último, si bien obtiene su energía en mayor parte de la fuente de poder, debe ser conectado por USB a un computador para tener 5 Volts de referencia. La falta de esto deja a la fuente sin la polarización necesaria para operar correctamente, e inhibe el correcto funcionamiento del circuito. En aplicaciones de poca potencia es posible usar el optoacoplador solo haciendo uso del USB, dejando a la fuente de 12 volts cómo opcional.

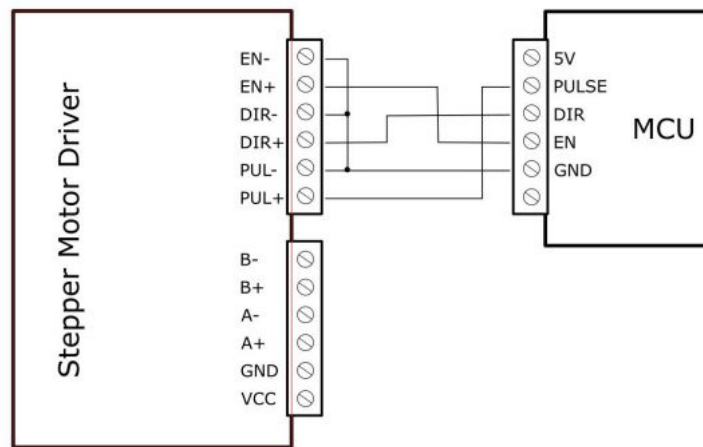
En cuanto a los drivers, se usa una fuente de poder para cada eje, cosa de asegurar mayor robustez ante los fallos. El uso de solo una fuente podría funcionar bien en aplicaciones de poca potencia, pero en las pruebas con un stepper nema 23 se llegó a ver voltajes cercanos a los 100 volts en la salida del driver, cosa que prueba la potencia que puede llegar a exigir ciertos motores.

Drivers

Para poder controlar un motor stepper se pueden utilizar drivers especializados para ello. Con el driver se puede controlar la intensidad, dirección y habilidad o deshabilidad el motor, además de poder conseguir una mayor definición de giro con micro-pasos.

El driver recibe como entrada 3 señales, Dir, Pul y Enable. Con Dir se controla la dirección de giro del motor, con Pul se envía un tren de pulsos según los cuales gira el motor y Enable sirve como un pin de control.

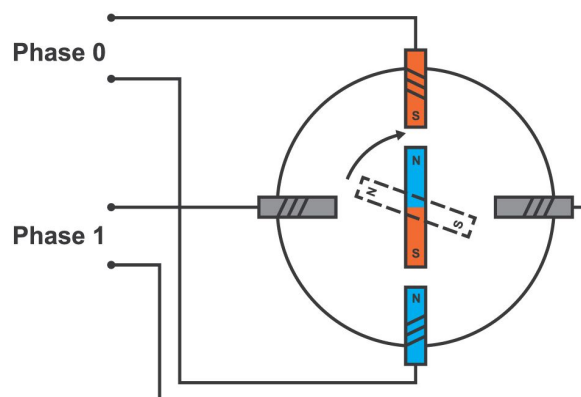
El driver recibe la alimentación de los motores y la conexión con los ejes A y B del motor, con los cuales puede energizar y controlar el motor.



Al conectar el driver existen 2 configuraciones, ánodo común, en donde todos los polos positivos de control se conectan juntos a un voltaje positivo, y cátodo común, en donde todos los polos negativos de control se conectan a tierra. Los polos opuestos se conectan a las respectivas señales de Dir, Pul y Enable. Las características producto del tipo de conexión que se haga dependerá del driver que se esté utilizando.

Los drivers a utilizar en la versión final son los DM556, sin embargo, debido a que no se contó con su disponibilidad, se utilizó el driver DM860 para las pruebas.

Motores stepper



Consiste en una serie de electroimanes, excitados por bobinas, que controlan la posición de un eje magnético, siendo generalmente bipolares (2 electroimanes). Al energizar una bobina un electroimán se activará, con la orientación dependiendo del sentido de la corriente. Según cuales y en qué sentidos se activen los electroimanes se cambiará la posición del eje. Finalmente encadenando una serie de estos movimientos se consigue que el eje gire. Que estas rotaciones sean discretas hace que estos motores sean muy precisos, lo cual resulta útil para ciertas aplicaciones como lo son el control de máquinas CNC.

El motor a utilizar es un motor Nema23. Pese a que las pruebas fueron realizadas con este motor, no eran los comprados para la máquina.

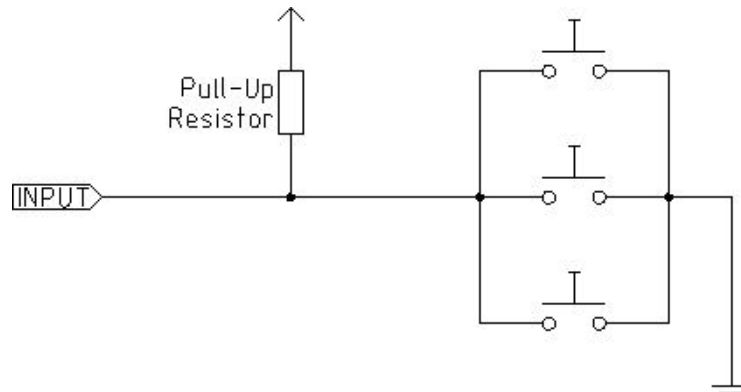
Conmutación del Plasma

Con respecto a la conmutación del plasma, esta depende del modelo de antorcha que se compre, sobre la cual lamentablemente de momento no hay claridad. Es posible que se pueda usar el Relay que trae la placa de optoacoplación para la conmutación de este, sin embargo hasta tener el modelo definitivo no se tienen claridad.

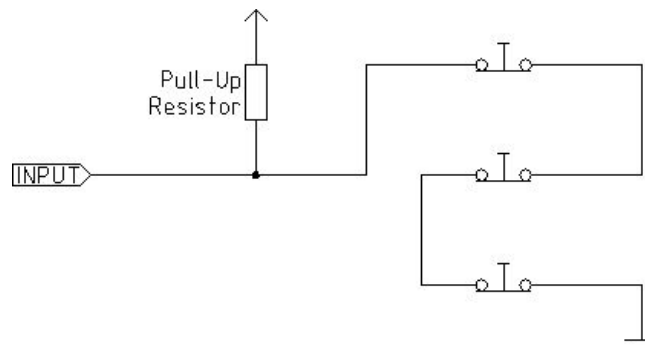
Periféricos

Los periféricos se conectan directamente a la tarjeta de optoacoplación, estos comparten una misma tierra y tienen diferentes entradas. Hay una recomendación por parte del fabricante de la tarjeta sobre para qué usar los puertos sin embargo, el uso de estos es configurable cómo se verá en la sección correspondiente. Mecánicamente pueden ser botones y fines de carrera cómo los que se muestran en la sección de elementos de construcción.

Para los finales de carrera, existen 2 tipos de switch, aquellos que están normalmente abiertos y otros que están normalmente cerrados. Considerando que se debe enviar una señal en el momento en el que uno de estos switches es cerrado, existen 2 configuraciones. Para los switches normalmente abiertos, se deben conectar en paralelo, en el momento en el que uno de estos es presionado, se cierra el circuito y envía la señal.

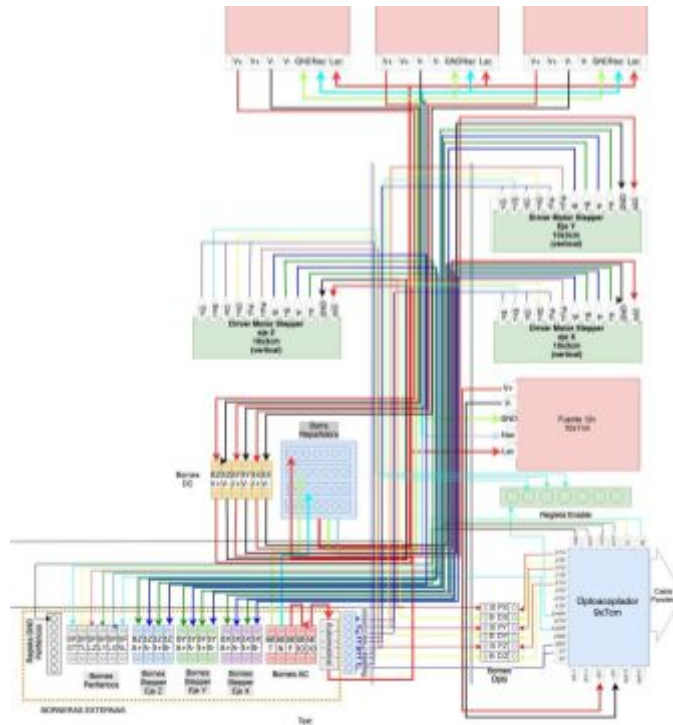


Para los switches normalmente cerrados, se deben conectar en serie, en el momento en el que uno de ellos es presionado, el circuito es abierto, enviando la señal.



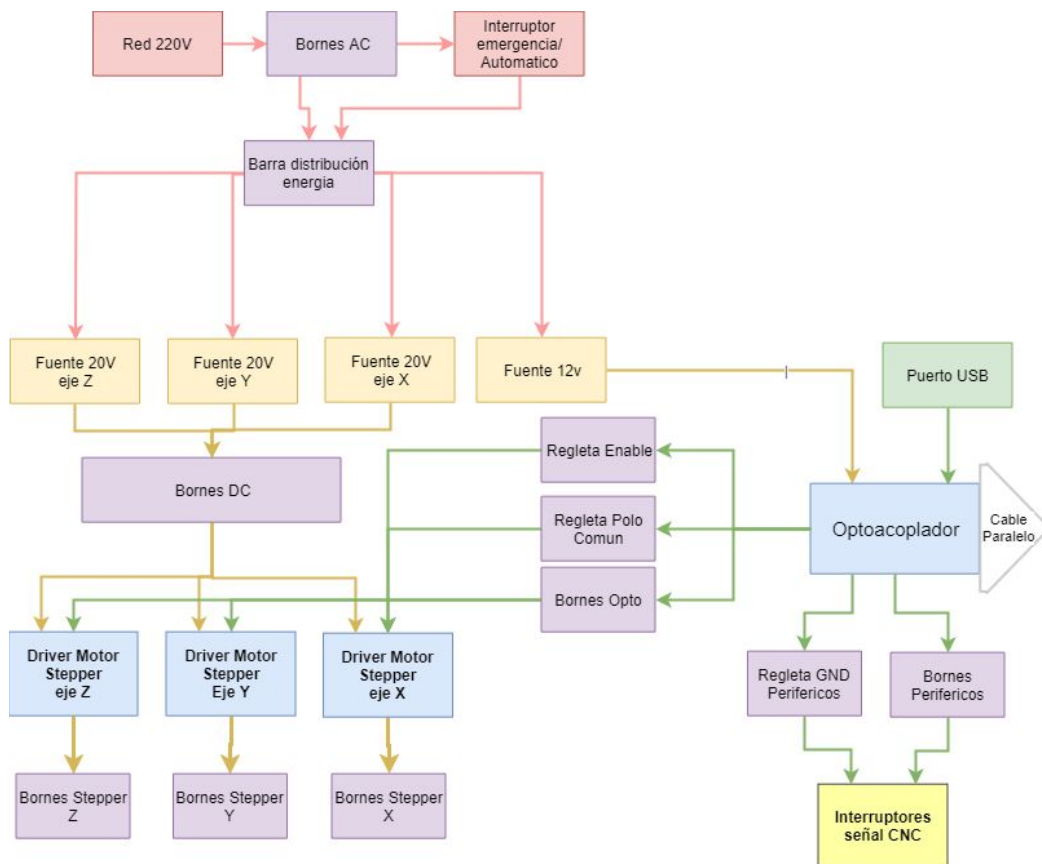
Placa de montaje

Los elementos fueron instalados en una placa de montaje de diseño idéntico al de la figura. Se adjunta una versión en tamaño completo al final del informe y en bibliografía los archivos fuente. Importante notar que al momento de escrito este informe ni los drivers ni los transformadores de 20 volts habían sido montados, a la espera de encontrar los modelos que iba a ser usados finalmente en la máquina CNC.



Representación completa de placa de montaje

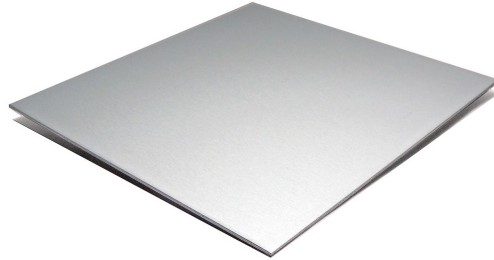
Una representación más abstracta de los componentes se puede ver en la siguiente figura.



Conexiones y bornes de tablero

Elementos de construcción

Placa de Montaje



La placa de montaje utilizada fue una placa de aluminio de 500x500x1mm. Fue comprada en Maquimetal Ltda, ubicada en Obispo Manuel Umaña 791, Estación Central (cerca del metro Universidad de Santiago).

Automático



Se utilizó un automático monofásico de 32A, conectada a la fase de 220V AC.

Barra repartidora



Para los nodos de fase, neutro y tierra de 220V AC, con los cuales se alimentan las fuentes de poder de los motores y del optoacoplador de 5 ejes, se utilizó un repartidor tetrapolar.

Bornes



Para las conexiones uninodales entre elementos del tablero y para conexiones externas con el tablero se utilizarán bornes. Se utilizaron 3 tipos de bornes, bornes de 6mm para los voltajes altos AC, bornes de 4mm para los voltajes medios DC y bornes de 2mm para señales.

Regleta



Para las conexiones multi-nodales se utilizaron regletas. En este caso correspondió a las señales enable y de polo común de los driver, y para la tierra común de las señales externas.

Riel Din



Para la colocación de los bornes y regletas, además del automático y barra repartidora, se utilizaron rieles Din perforados.

Canaleta



Para esconder y proteger el cableado del tablero se utilizaron canaletas ranuradas de 10x6cm.

Botones de Emergencia



Aún no han sido comprados, sin embargo dentro del diseño se contemplan 2 botones de emergencia. Uno de ellos corta directamente la corriente de la alimentación, mientras que el segundo envía una señal de parada de emergencia al optoacoplador.

Finales de Carrera



Aún no han sido comprados y no corresponde a elementos dentro del tablero, los finales de carrera son elementos importantes en la parte electrónica del CNC plasma. Estos son botones que indican los límites de de cada eje de la máquina, siendo un total de 6. Al ser presionados envían la señal que se llegó al límite, deteniendo las máquinas automáticamente.

Cableado

Para las conexiones se utilizaron 3 tipos de cables:

- Cable de 6mm de diámetro para voltaje alto AC, correspondiente a alimentación de fuentes de poder.
- Cable de 4mm de diámetro para voltaje medio DC, correspondiente a alimentación de drivers, motores y optoacoplador.
- Cable de 1.5mm de diámetro para señales.

Además, se utilizó un código de color para las conexiones, considerando que en las tiendas generalmente se dispone de 6 colores diferentes. El código de colores para el AC es el estándar, sin embargo para las bobinas y las señales en general este puede ser cambiado. También se recomienda cambiar el ancho de los cables, considerando que están sobredimensionados.

Código de colores voltaje alto AC

- Rojo: Fase 220V AC
- Blanco: Neutro 220V AC
- Verde: Tierra 220V AC

Código de colores voltaje medio DC

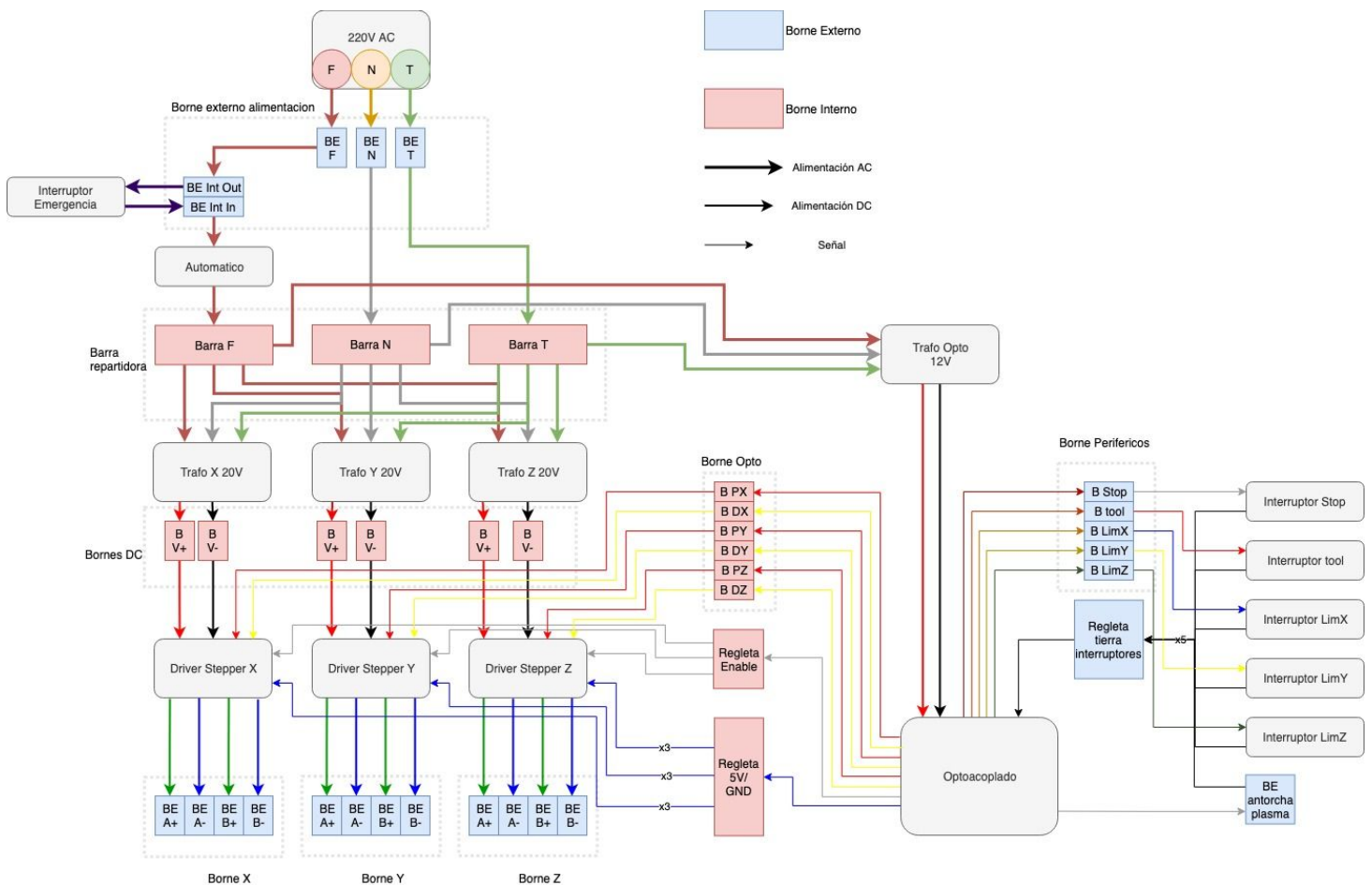
- Rojo: Voltaje positivo DC
- Negro: Voltaje negativo DC
- Verde: Bobina positiva motor
- Azul: Bobina negativa motor

Código de colores señales²

- Rojo: Señales Pul y limitador eje X.
- Amarillo: Señales Dir y limitador eje Y.
- Blanco: Señales Enable, parada de emergencia y relé conmutador plasma.
- Negro: Tierra común señales externas.
- Azul: Polo común driver y limitador eje Z.
- Verde: Señal Tool Setting.

Conexiones y bornes de circuito en tablero

En el siguiente diagrama se exponen los bornes y conexiones. Se adjunta en anexos una versión sin pérdida de este diagrama. Nótese que los colores de los cables en general son los colores usados finalmente en el tablero y no representan valores de voltajes como en los diagramas anteriores.



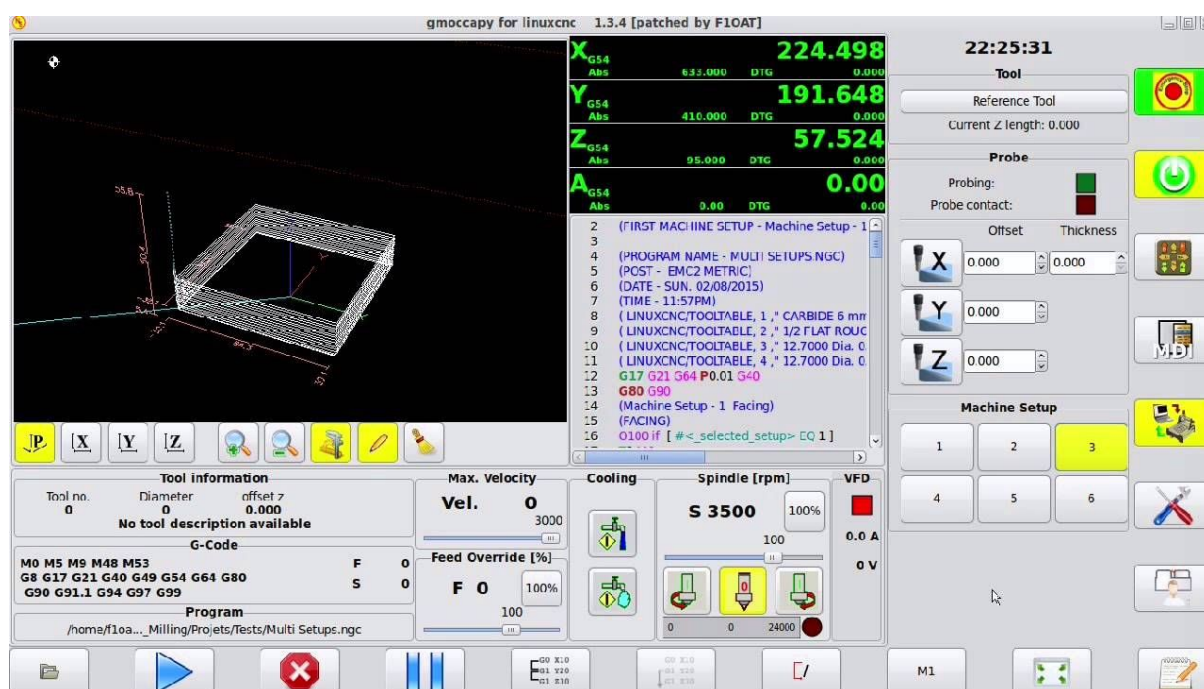
² Con respecto a las señales periféricas, siendo estas limitadores ejes X, Y, y Z, junto con la señal de emergencia y relé plasma, lo importante es que en lo posible queden de distintos colores.

Software

[LinuxCNC](#) es un software opensource CAM que permite operar una máquina CNC directamente desde el computador. Es de código completamente gratuito y abierto mediante licencia GNU GPLv2, además, está hecho y mantenido por una comunidad bastante activa. No tiene herramientas CAD ni de generación de g-Code, solamente lee instrucciones generadas externamente y las transmite directamente.

Al ser de código abierto, permite operar virtualmente todo tipo de máquina, sin embargo las que están actualmente implementadas son variadísimas, yendo desde impresoras 3Ds a cortadoras laser. Puede operar con distintos tipos de puertos de comunicación, siendo el puerto paralelo el más usado y habiendo problemas con USB por temas de retardo propios del hardware. Además, cuenta con distintas interfaces gráficas, las cuales son configurables en código fuente, pudiéndose usar desde computadores tradicionales a interfaces táctiles.

Funciona mejor en arquitecturas x86, preferentemente en Linux usando kernel en tiempo real. Siendo ideal para este fin el uso de computadores antiguos. Usa archivos .gcode para las instrucciones de la maquinación y .hal para la configuración.



Ejemplo de interfaz grafica de linuxCNC

Instalación de Linux y Linux CNC

Linux se puede instalar de manera fácil usando una imagen de un liveCD descargada desde alguna distribución como por ejemplo ubuntu en la pagina <https://ubuntu.com/download>. Una vez descargado el sistema debe ser booteado desde el CD, DVD o pendrive en el que la imagen fue quemada. Importante tener cuidado con el medio en el que se graba el liveCD, es posible que los computadores antiguos no permita bootear desde USB, así como también que los más modernos no tengan lector de CDs o DVDs. Desde ahí, la instalación de linux es cosa de seguir el menú o incluso es posible realizar algunas tareas básicas para probar el SO directamente en el liveCD. Para instalar linuxCNC una vez instalado linux es necesario seguir los pasos mostrados en <http://linuxcnc.org/downloads/>, donde se puede instalar desde la consola o bien descargar un archivo instalable .deb para los sistemas basados en debian o dpkg para otros.

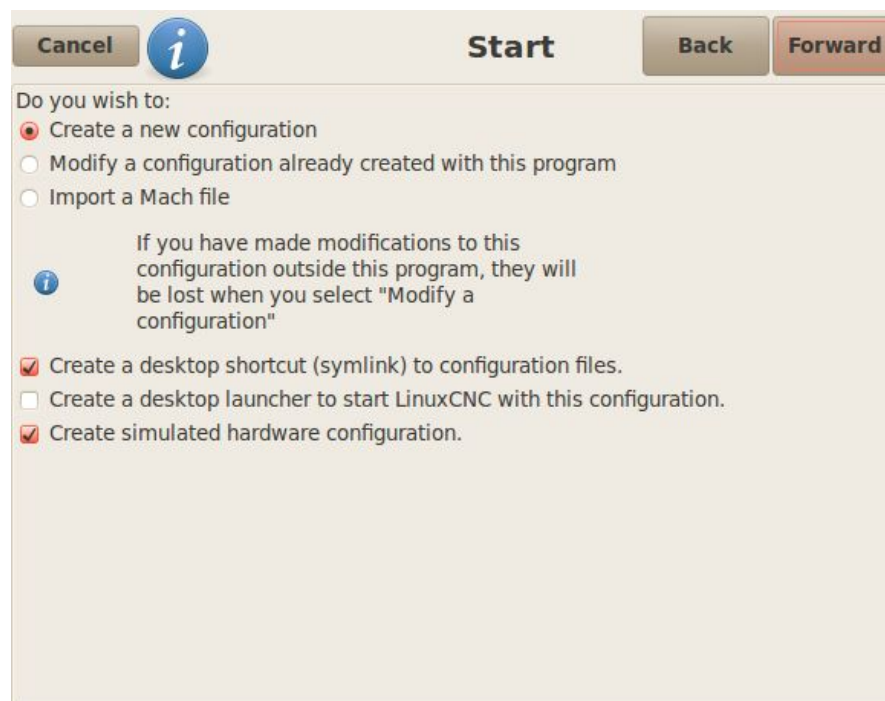
La forma más sencilla sin embargo es descargar la imagen de linux con LinuxCNC previamente instalado que ofrece la pagina <http://linuxcnc.org/downloads/>. Si el medio escogido para quemar la imagen es en disco tener cuidado con que el peso de la imagen es de sobre 1 gigabyte, por lo que no será posible grabarlo en un CD tradicional y será necesario contar con lector de DVD.

Configuración LinuxCNC

La configuración de la máquina se realiza en el programa Stepconf Wizard, que es instalado junto a LinuxCNC. Una vez realizada esta configuración se puede comenzar a utilizar LinuxCNC. Los archivos generados con la configuración son directamente guardados en el directorio linuxcnc/config, y para ser editados se debe escoger el archivo con extensión .stepconf en el mismo programa.

La información entregada en esta sección, además de las imágenes usadas aquí se pueden encontrar en <http://linuxcnc.org/docs/html/config/stepconf.html>.

Al abrir el programa aparecerá la siguiente ventana. Se recomienda usar la resolución original (800x600):



Aquí se puede escoger entre crear una nueva configuración, modificar una configuración existente o importar la configuración desde un archivo Mach, usado en el programa CNC Mach 3/4. Se puede escoger crear un acceso directo en el escritorio del archivo de configuración, crear un acceso directo de LinuxCNC con la configuración creada/editada y crear una simulación del hardware.

Configuraciones iniciales

Una vez escogido crear o editar una configuración y presionado Forward/siguiente, aparecerá la siguiente ventana:

Machine Name: my-mill

Configuration directory: ~/linuxcnc/configs/my-mill

Axis configuration: XYZ

Reset Default machine units: Inch

Driver characteristics: (Multiply by 1000 for times specified in μ s or microseconds)

Driver type: Other

☒ Driver Timing Settings

Step Time: 5000 ns

Step Space: 5000 ns

Direction Hold: 20000 ns

Direction Setup: 20000 ns

☒ One Parport ☐ Two Parports

Base Period Maximum jitter: 15000 ns

Test Base Period Jitter

Min Base Period: 30000 ns

Max step rate: 33333 Hz

Aquí se puede definir:

- Nombre de la máquina.
- Los ejes de la máquina: XYZ para fresadoras, XYZA para fresadoras de 4 ejes y XY para tornos.
- Unidades de la máquina, siendo milímetros o pulgadas. Se escogió milímetros (mm).
- Tipo de driver: Si los drivers que se están ocupando aparecen aquí no se requiere configurar el timing de los drivers. Si no está, se debe escoger otros y definir las siguientes características:
 - ◆ **Step Time:** Tiempo que un pulso permanece prendido (ns).
 - ◆ **Step Space:** Tiempo mínimo entre cada pulso (ns).
 - ◆ **Direction Hold:** Cuanto tiempo se mantiene el pin dir después de un cambio de dirección (ns).
 - ◆ **Direction Setup:** Tiempo de cambio de dirección después del último pulso (ns).

Si no se está seguro de alguno de estos valores se recomienda usar 20.000 ns.

- Número de puertos paralelos a usar.
- Jitter máximo del computador: Este número corresponde a cuanto se demora el computador para responder una petición externa y se puede determinar con un test.

Valores CNC Plasma

Los valores utilizados fueron:

-Axis Configuration:	XYZ
-Rest Default machine units:	millimeters
-Driver Type:	Other
-Step Time:	20000 ns
-Step Space:	20000 ns
-Direction Hold:	20000 ns
-Direction Setup:	20000 ns
-Número de puertos:	One Parport

Prueba de Jitter

Para poder determinar el Jitter máximo del computador se debe presionar en Test Base Maximum Jitter. Al hacer esto se abre la siguiente ventana:

Let this test run for a few minutes, then note the maximum Jitter. You will use it while configuring emc2.

While the test is running, you should "abuse" the computer. Move windows around on the screen. Surf the web. Copy some large files around on the disk. Play some music. Run an OpenGL program such as glxgears. The idea is to put the PC through its paces while the latency test checks to see what the worst case numbers are.

	Max Interval (ns)	Max Jitter (ns)	Last interval (ns)
Servo thread (1.0ms):	1001089	5929	995302
Base thread (25.0µs):	33954	9075	24843

Reset Statistics

Al abrir esta ventana, se debe realizar una prueba de estrés en el computador, abriendo múltiples ventanas y aplicaciones, páginas web, etc. Luego de esto se debe ver el máximo jitter registrado, mostrado en la ventana, y poner ese número en la configuración.

Si el valor es menor a 20 us (20.000 ns) significa que el computador presentará buenos resultados. Entre 30 y 50 us sigue siendo bueno, pero si supera los 100 us el computador no es apto para softwares de stepping. Si el valor supera el 1 ms entonces el computador no es apto para LinuxCNC en general.

Configuración puerto paralelo

Luego de configurado las características generales, aparecerá la siguiente pantalla:

Help Cancel  **Parallel Port 1** Back Forward

Outputs (PC to Mill):	Invert	Inputs (Mill to PC):	Invert
Pin 1: ESTOP Out	<input type="checkbox"/>	Pin 10: Unused	<input type="checkbox"/>
Pin 2: X Step	<input type="checkbox"/>	Pin 11: Unused	<input type="checkbox"/>
Pin 3: X Direction	<input type="checkbox"/>	Pin 12: Unused	<input type="checkbox"/>
Pin 4: Y Step	<input type="checkbox"/>	Pin 13: Unused	<input type="checkbox"/>
Pin 5: Y Direction	<input type="checkbox"/>	Pin 15: Unused	<input type="checkbox"/>
Pin 6: Z Step	<input type="checkbox"/>		
Pin 7: Z Direction	<input type="checkbox"/>		
Pin 8: A Step	<input type="checkbox"/>	Parport Base Address:	
Pin 9: A Direction	<input type="checkbox"/>	<input type="text" value="0"/>	
Pin 14: Spindle CW	<input type="checkbox"/>	Output pinout presets:	
Pin 16: Spindle PWM	<input type="checkbox"/>	<input type="text" value="Sherline"/>	
Pin 17: Amplifier Enable	<input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Preset"/>	

Aquí se configura el puerto paralelo. Se define cada pin de entrada y salida, y la dirección del puerto paralelo en notación hexadecimal. Se puede escoger si las señales de los pines van invertidas o no. También se pueden escoger configuraciones predefinidas de acuerdo a estándares existentes.

La definición de estos pines dependerá de los componentes utilizados, incluyendo si estas señales deben ir invertidos o no.

Generalmente la dirección del puerto paralelo es 0x378, sin embargo se puede ver esta dirección con `cat /proc/ioports | grep parport`, útil en caso de utilizar otro puerto paralelo. Al ingresar este comando aparecerá una lista con los puertos, siendo los primeros 4 de cada puerto la dirección de este (se puede ver que el puerto 0 parte con 0378). Como deben estar en notación decimal se debe agregar al principio "0x".

Configuración CNC Plasma

Para el optoacoplador de 5 ejes utilizado en esta máquina se tiene la siguiente configuración, que puede ser vista en su manual de usuario o en el anexo:

Número de Pin	Señal	Tipo de señal	Invertido
1	Spindle ON	output	Si
2	X Step	output	No/Si
3	X Direction	output	No/Si
4	Y Step	output	No/Si
5	Y Direction	output	No/Si
6	Z Step	output	No/Si
7	Z Direction	output	No/Si
8	-	output	-
9	-	output	-
10	EStop In	input	No
11	Tool In	input	No
12	Both Limit X	input	No
13	Both Limit Y	input	No
14	Amplifier Enable	output	Si
15	Both Limit Z	input	No
16	-	output	-
17	Output 0	output	No

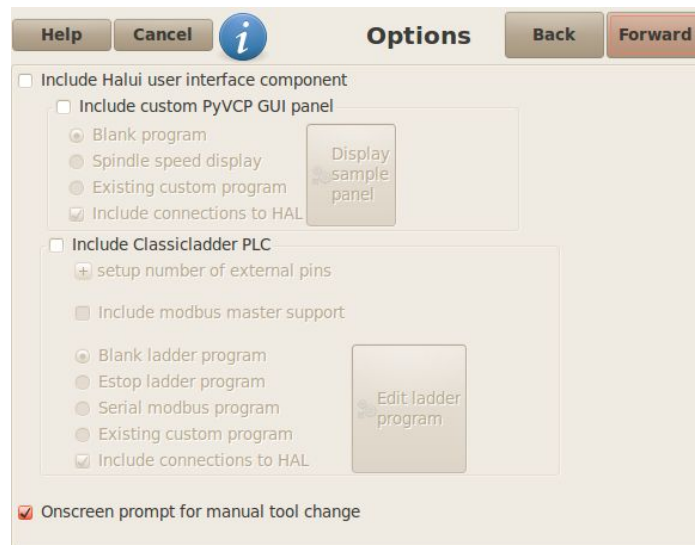
Si se invierte la señal de los ejes dependerá de qué tipo de conexión existe. Si es cátodo común entonces va sin inversión, pero si es ánodo común entonces la señal va invertida. Las pruebas

realizadas fueron con cátodo común, sin embargo funcionó con la señal enable invertida. Se debe probar si con ánodo común tiene que seguir invertida o tiene que estar sin invertir.

Para las señales de límite (12, 13 y 15), también se pueden configurar para que sean las señales del homing, para poder determinar el inicio de la antorcha.

Opciones de interfaz

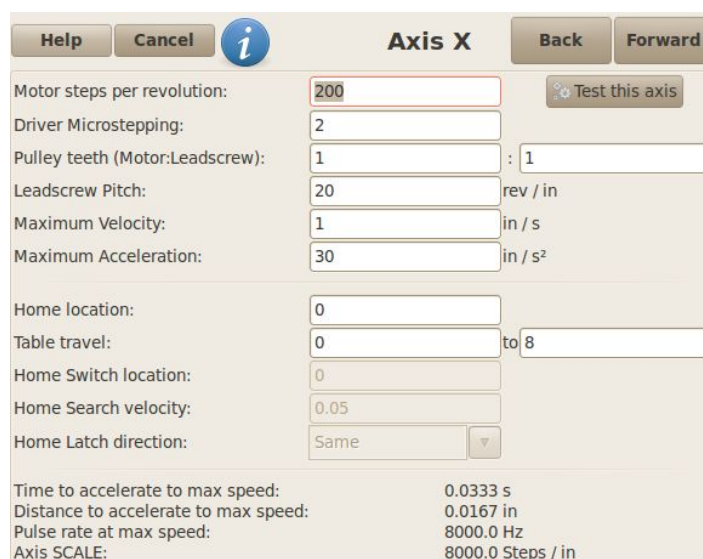
Luego de configurado los pines del puerto paralelo, aparecerá la siguiente ventana, en donde se pueden configurar opciones adicionales para la interfaz:



En general no se requiere agregar ninguna de estas opciones para hacer funcionar el programa, siendo configuraciones para agregar funciones más personalizadas dentro de la interfaz. Si se quiere saber más sobre esto se puede revisar la guía de Stepconfig de LinuxCNC.

Configuracion ejes

Luego de configurar las opciones de interfaz, aparecerán las siguientes ventanas para los ejes X, Y y Z:



Las configuraciones que se deben realizar aquí son:

- ➔ **Motor steps per revolution:** Número de pasos del motor requeridos para realizar una revolución. Depende del motor. Si no aparece directamente en el datasheet se puede calcular a partir del ángulo por revolución, dividiendo 360 por dicho ángulo.

- **Driver Microstepping:** MicroStepping realizados por el driver. Si este indica el número de pulsos por revolución se debe dividir ese número por el número de pasos por revolución del motor.
- **Pulley teeth:** Razón de poleas entre el motor y tornillo, si existe. De no tener se deja en 1:1.
- **Lead Screw Pitch:** Paso del tornillo/cremallera (ancho del hilo).
- **Maximum Velocity:** Velocidad máxima del eje. Esto dependerá del motor y del tornillo. La mejor forma de determinar este valor es por medio de pruebas.
- **Maximum Acceleration:** Aceleración máxima del eje. Al igual que la velocidad depende del motor y el tornillo, y se determina por medio de pruebas.
- **Home location:** Coordenada de la posición inicial de la máquina. En caso de no tener switches que indiquen esta posición se debe mover la máquina a dicha posición antes de apretar el boton de Home.
- **Table travel:** Límites del eje. La posición del Home no debe ser igual a uno de estos límites.

En caso de haber definido los switchs del Home en la configuración del puerto paralelo se habilitarán las siguientes configuraciones:

- **Home Switch location:** Posición relativa en donde se libera el switch del Home. En caso de usar el switch de límite como switch del Home, su posición debe ser distinta del Home.
- **Home Search velocity:** Velocidad con el que buscará el switch del Home. Si este está en el límite, la velocidad debe ser tal que sea capaz de desacelerar al llegar al switch.
- **Home Latch direction:** Determina la dirección del switch. *Same* define el Home cuando aprieta el switch 2 veces, *Opposite* define el home cuando suelta el switch.

En este menú también se puede controlar directamente el motor, pudiéndose probar si la configuración fue realizada correctamente, además de determinar la velocidad y aceleración máxima. Para eso se debe presionar en **Test this axis**, abriéndose la ventana que se ve abajo. Aquí se puede definir a qué velocidad y aceleración se moverá el motor. Se puede mover manualmente en ambas direcciones, o definir que se mueva automáticamente dentro de un área.

The image shows a software interface for testing an axis. It has the following elements:

- Velocity:** A text box with "1.0" and a unit dropdown set to "in / s".
- Acceleration:** A text box with "30.0" and a unit dropdown set to "in / s²".
- Jog:** Two orange arrow buttons pointing left and right.
- Test Area:** A text box with "±" and "15.0", followed by a unit dropdown set to "in".
- Buttons:** A "Run" button with a gear icon, a "Cancel" button, and an "OK" button.

Encontrar velocidad máxima

Para determinar la velocidad máxima, se debe escoger una aceleración baja (50 mm/s^2) y un área segura en la cual se debe mover el eje. Luego se coloca la máquina en el centro, se coloca la velocidad máxima que se espera conseguir y se aprieta Run. Si durante el proceso el motor no presenta detenciones significa que puede trabajar en dichas velocidad, de lo contrario, se debe bajar la velocidad.

Una buena forma de verificar que no hubo detenciones es volver a presionar Run, esto hará que el motor retorne a su posición original, si este está corrido del original significa que en efecto el motor se detuvo durante pequeños intervalos de tiempo.

Se recomienda reducir en 10% la velocidad máxima encontrada para la configuración.

Al realizar esta prueba se debe asegurar que se llegue a la velocidad. Para saber si el rango de movimiento es el suficiente se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$d = 0.5 \frac{V^2}{a}$$

Encontrar aceleración máxima

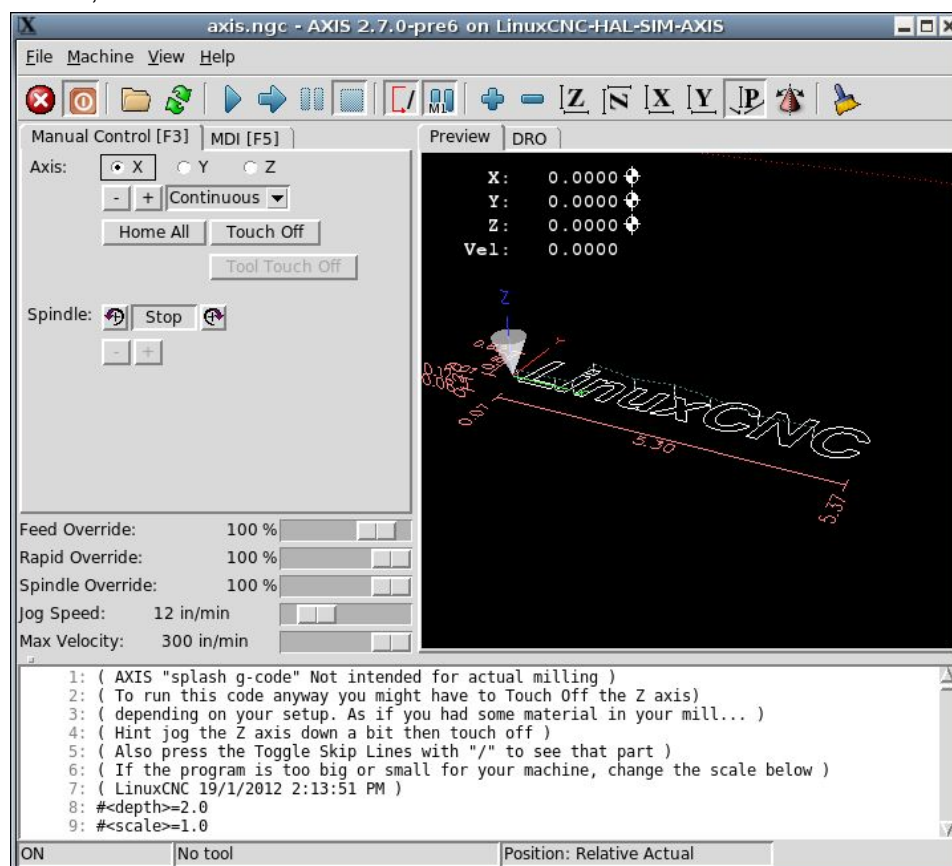
La búsqueda de la aceleración máxima se realiza de la misma forma que la velocidad máxima, cerciorándose nuevamente que el área escogida es suficiente para alcanzar la velocidad máxima.

Valores CNC Plasma

Debido a que no se contaban con todos los componentes, ni se pudieron hacer pruebas en la mesa, los valores utilizado en las pruebas no son útiles para la CNC plasma.

Uso de la interfaz

LinuxCNC tiene una serie de interfaces que pueden ser utilizadas. La interfaz utilizada en este proyecto fue Axis, mostrada a continuación:



Por defecto la maquina se encuentra apagada. Se enciende apretando el botón verde o F2. Si el cabezal no sobrepasa ninguno de los límites, y si ninguno de los finales de carrera o botón de emergencia se encuentra presionado, entonces la máquina se prendera. Si alguno de estas condiciones se cumple la máquina automáticamente enviará un mensaje de error y se apagará. Del mismo modo se puede presionar el botón rojo o F1 para activar la parada de emergencia.

En Axis se puede cortar un modelo a partir de un archivo, o controlar cada uno de sus ejes de forma independiente.

Para el control manual se encuentra el menú de ejes en F3. Aquí se puede controlar el eje en una dirección u otra, además de dejar el cabezal en el Homing del respectivo eje, necesario para ejecutar un archivo. Según se haya configurado, este considerará como home la posición inicial o lo buscará yéndose a los extremos. El primer caso se da cuando se tiene configurado un homing manual, en ese caso uno es el responsable de mover el cabezal a la posición inicial de forma manual.

Para ejecutar un archivo se tienen 4 botones, siendo el de ejecutar, pasar a la próxima línea, pausar o detener la ejecución el programa.

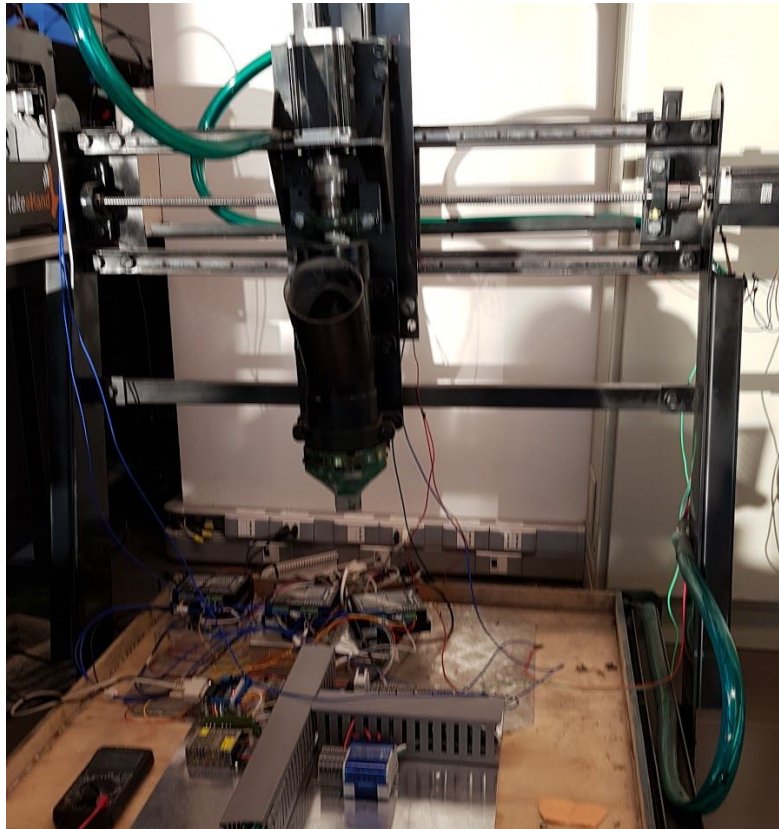
Axis muestra el modelo que se desea cortar, y se muestra en tiempo real el avance de la máquina. Además se tienen botones con lo que se puede cambiar la vista de dicha ventana, además se puede arrastrar el mouse para cambiar la vista de forma manual, utilizando la rueda para acercar o alejar la vista.

Una guía más detallada puede ser encontrada en <http://linuxcnc.org/docs/html/gui/axis.html>.

Implementación y Resultados

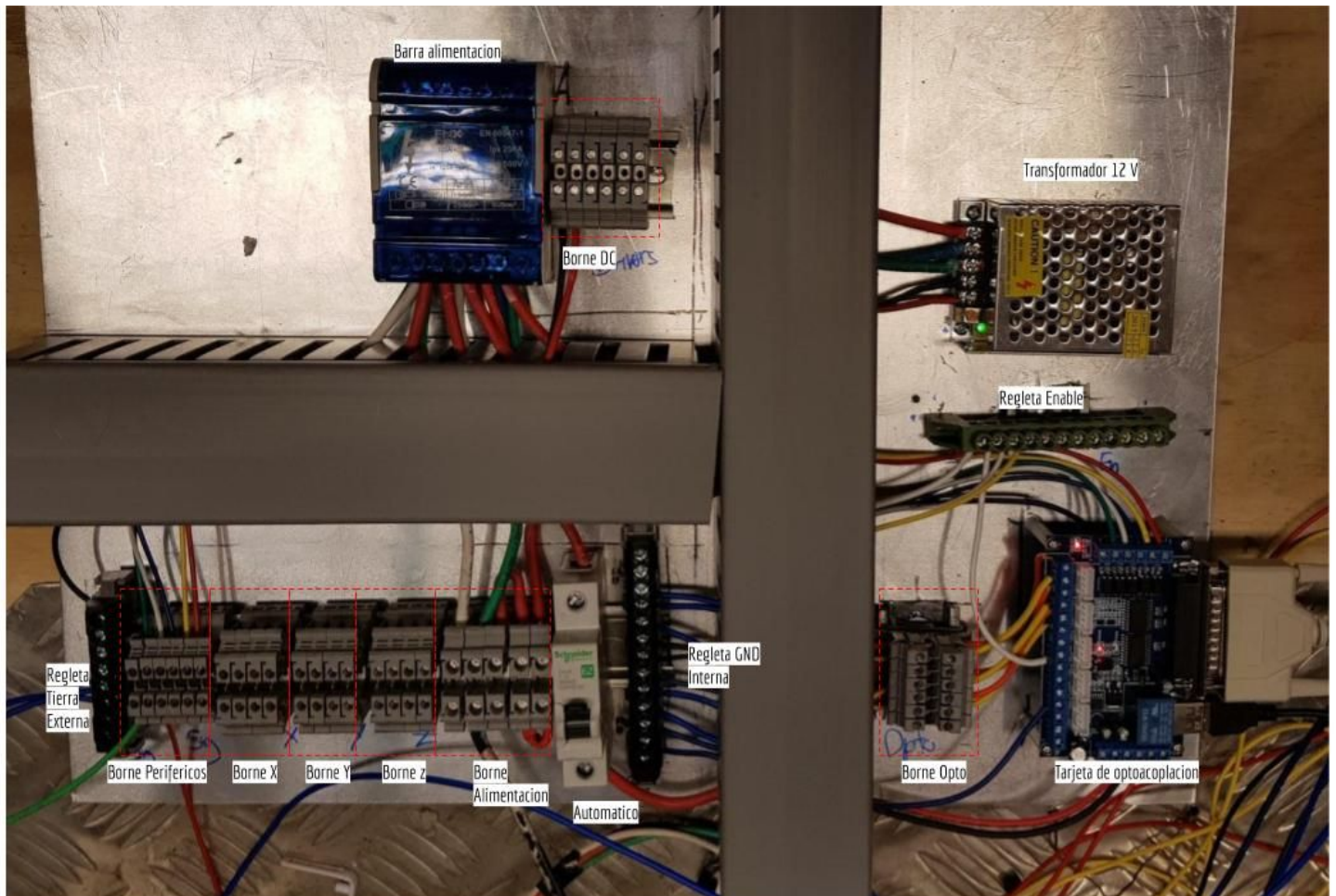
Resultados

Para las pruebas se utilizaron componentes de otra maquina, al no contar con los componentes reales del CNC plasma. Se logró controlar de manera correcta un motor y moverlo utilizando LinuxCNC, cortando un modelo predefinido del software. Esto da como resultado del correcto control de los 3 ejes, siendo el control de los otros ejes análogo al eje controlado. Fue posible además realizar pruebas de la detención de emergencia e interruptores de final de carrera, y comprobar su correcto funcionamiento.



Prueba final de tablero en máquina

La implementación final de la placa de montaje es la que se ve en la siguiente imagen. Se decidió no incluir los transformadores de los drivers ni los drivers para evitar



Implementación lograda de placa de montaje

Problemas

Como se ha mencionado a lo largo del informe, no se contaron con los componentes comprados para la máquina, no teniendo información precisa de su localización, lo cual dificultó el diseño del tablero y la realización de pruebas. Tampoco se contó con la documentación del trabajo realizado durante el curso de Introducción al Taller de Diseño, por lo cual también se tuvo que hacer esa parte del proyecto. Otra dificultad fue la no posible adquisición del rack y el computador para el plasma CNC, por lo que no se pudo realizar la instalación definitiva de los componentes en la máquina, ni ver el tema del cableado fuera del tablero.

Conclusiones

Fue posible implementar todo de buena manera. Sin embargo debido a que no hubo comunicación con el equipo mecánico a cargo no fue posible terminar lo pedido en la CNC plasma.

Debido a que al momento de diseñar el tablero ni siquiera se contaba con el modelo de los componentes comprados, no se calcularon bien las dimensiones. Debido a esto es posible que se requiera un segundo tablero o soporte para montar los transformadores. De ser requerido se recomienda agregar bornes externos en el tablero para las entradas y salidas de las fuentes, para mejorar la independencia y movilidad de las piezas.

El trabajo que queda por realizar es:

- Reemplazar los cables de alimentación por un menor calibre.
- Reemplazar la alimentación de 5 volts por entrada USB por una fuente de alimentación, no requiriendo la conexión USB con el computador.
- En caso de que no se pueden encajar todos los elementos faltantes dentro de la placa, escoger entre:
 - ◆ Cambiar la placa de montaje por una más grande, donde se puedan ajustar todos los elementos.
 - ◆ Crear una segunda placa de montaje donde vayan los elementos que no alcanzaron a ir dentro de la primera placa.
- Etiquetar los bornes dentro del tablero.
- Repensar la conexión del automático. Quizás cortar la alimentación de todos los componentes no sea lo más adecuado. Mientras se busca que unos componentes dejen de funcionar, tal vez sea conveniente que otros sigan energizados mientras se detienen las operaciones.

Bibliografía

Datasheet Optoacoplador https://warp9td.com/images/BOB_Vendors/StepperOnline/ST-V2.pdf

Datasheet Driver Motor Stepper DM556: <http://www.leadshine.com/UploadFile/Down/DM556m.pdf>

Datasheet Motor Stepper Nema 23: <https://www.cui.com/product/resource/nema23-amt112s.pdf>

Diagramas (Draw.io) <https://drive.google.com/file/d/1PObYbBdMJArt1ewgQceDJJ7aVt1WsrB5/view?usp=sharing>

Reporte <https://docs.google.com/document/d/1rpmf7kgpkObSp1u81GpgjpI0NyfZ58B2krda52GOvmg/edit>

Linux CNC; <http://linuxcnc.org/docs/html/gui/axis.html>

Stepconf Wizard: <http://linuxcnc.org/docs/html/config/stepconf.html>

GUI Axis: <http://linuxcnc.org/docs/html/gui/axis.html>

Anexos

Configuración Breakout Board CNC con Optoacoplación de 5 ejes

Outputs de motores

Engine Configuration... Ports & Pins

Port Setup and Axis Selection | Motor Outputs | Input Signals | Output Signals | Encoder/MPG's | Spindle Setup | Mill Options

Signal	Enabled	Step Pin#	Dir Pin#	Dir LowActi...	Step Low A...	Step Port	Dir Port
X Axis		2	3			1	1
Y Axis		4	5			1	1
Z Axis		6	7			1	1
A Axis		8	9			1	1
B Axis		16	17			0	0
C Axis		0	0			0	0
Spindle		1	0			1	1

Check if you use 5 axis

Check if common-anode wiring
Cross if common-cathode wiring

Click "Apply" after setting up

OK Cancel Apply

Inputs de señales

Engine Configuration... Ports & Pins

Port Setup and Axis Selection | Motor Outputs | Input Signals | Output Signals | Encoder/MPG's | Spindle Setup | Mill Options

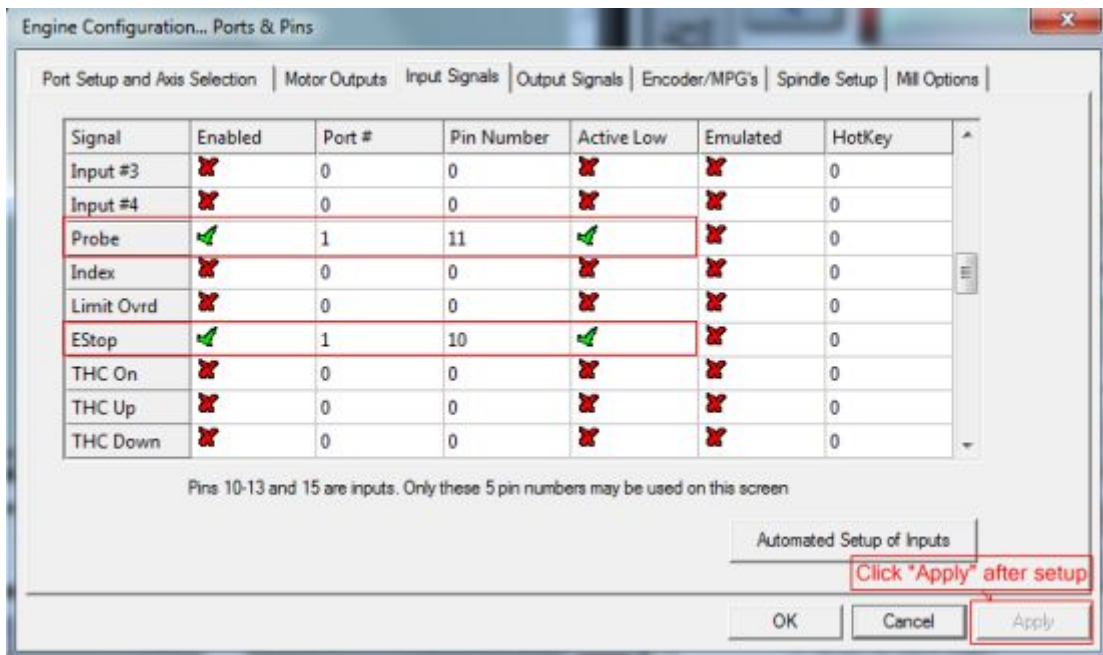
Signal	Enabled	Port #	Pin Number	Active Low	Emulated	HotKey
X ++		1	12			0
X --		1	12			0
X Home		0	0			0
Y ++		1	13			0
Y --		1	13			0
Y Home		0	0			0
Z ++		1	15			0
Z --		1	15			0
Z Home		0	0			0

Pins 10-13 and 15 are inputs. Only these 5 pin numbers may be used on this screen

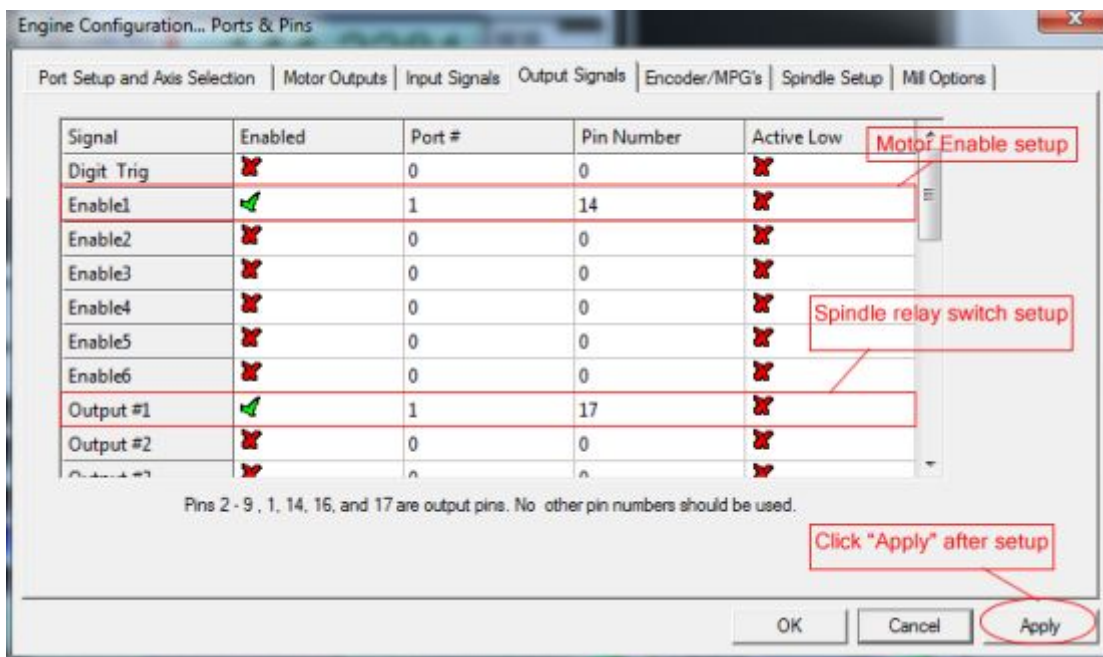
Automated Setup of Inputs

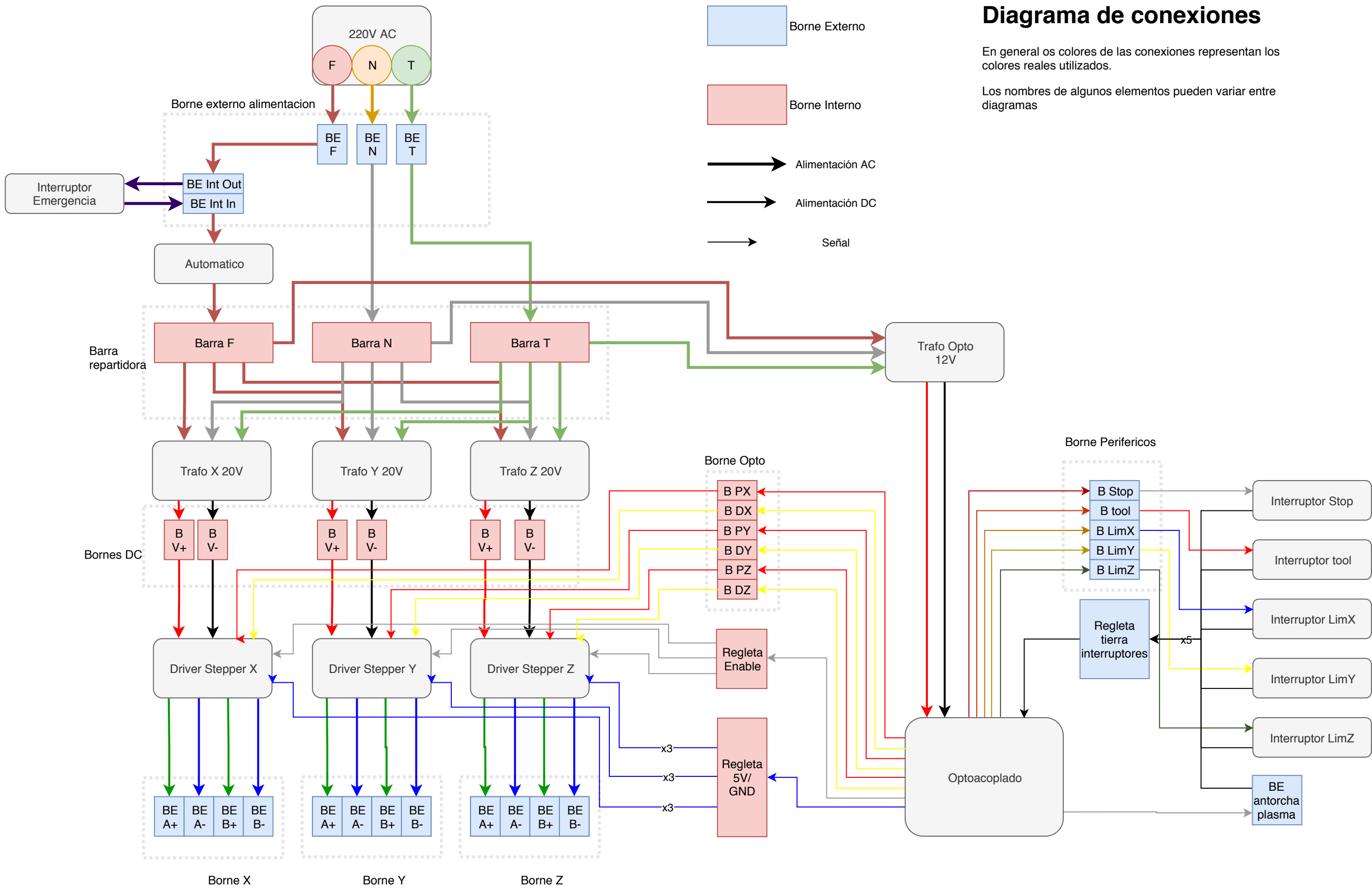
Click Apply after setup

OK Cancel Apply



Outputs de Señales





Diseño de tablero electrico

Los colores de las conexiones en general reflejan el color real de los cables en la version implementada.

Notese que ni los drivers ni las fuentes de 20 volts fueron fijados en la implementacion final

